4У

УДК 004.93

И.М. Удовик, Л.Г. Ахметшина, А.М. Ахметшин
Днепропетровский национальный университет, г. Днепропетровск, Украина
akhmlu@mail.ru

Самоорганизующийся интерференционный метод сегментации слабоконтрастных изображений

В статье рассмотрены информационные возможности нового метода сегментации слабоконтрастных изображений. Суть метода основана на идее самоорганизации выбора значений параметра модуляционного преобразования, что позволяет повысить как чувствительность, так и информативность метода за счет дополнительного использования фазо-пространственных характеристик. Представлены результаты реальной проверки работоспособности метода.

Введение

Вопросы анализа и сегментации слабоконтрастных изображений остаются одними из наиболее актуальных и востребованных в теории и практике методов компьютерного зрения в таких областях, как медицинская диагностика, неразрушающий контроль, дистанционное зондирование и ряд других. Психофизиологические особенности визуального восприятия слабоконтрастных изображений хорошо известны [1], и для их анализа широко используются такие методы, как градиентное отображение, метод эквализации гистограмм и различные варианты методов инверсной фильтрации. Проблема применения указанных методов заключается в том, что, например, градиентное отображение является эффективным лишь при наличии равномерного (или линейно варьируемого) фона, а на фоне, характеризуемом «сложным рельефом», метод оказывается неэффективным. Метод эквализации гистограмм применительно к слабоконтрастным изображениям также является неудовлетворительным, если диапазон градации яркостей рассматриваемого изображения является полномасштабным. Основной проблемой применения методов инверсной фильтрации является то обстоятельство, что, как правило, аппаратная функция системы формирования изображений является неизвестной, а если она является и пространственно-неинвариантной (рентгеновские снимки), то их применение является в принципе проблематичным. В этой связи для анализа слабоконтрастных изображений используются виртуальные аналоги физических методов (когерентная оптика, радиофизика, голография) контроля параметров слоистых тонкопленочных структур и механики деформируемых объектов. В работе [2] нами были изложены информационные особенности нового интерференционного метода повышения визуального качества слабоконтрастных изображений, основанного на проведении аналогии с методом фазоконтрастной микроскопии.

Метод является эффективным в случае, если область «интереса» известна хотя бы приблизительно. В этом случае возможно определение оптимальной длины волны «виртуального» оптического излучения. Однако если это не так, то возникает проблема выбора длины волны излучения, являющаяся неоднозначной, что требует проведения ряда исследований с варьируемыми значениями параметров модуляционного преобразования. Помимо этого, предложенный в [2] вариант интерференционного метода базируется на анализе только амплитудно-пространственных характеристик, тогда как фазо-пространственные характеристики не используются.

Целью данной работы является развитие информационных возможностей интерференционного метода анализа и сегментации слабоконтрастных изображений на основе устранения недостатков, свойственных его раннему варианту.

Развитие информационных возможностей интерференционного метода

Интерференционный метод анализа слабоконтрастных изображений базируется на использовании нескольких этапов. Одним из которых является модуляционное преобразование анализируемого изображения $I(x,y)$ в плоскость комплексных яркостей на основе выражения

$$A(x,y)=\exp(j\pi I(x,y)/\lambda)=\mathrm{Re}\{A(x,y)\}+j\,\mathrm{Im}\{A(x,y)\}, \qquad (1)$$

где λ – длина волны виртуального когерентного оптического излучения. Для определенной «области интереса» в анализируемом изображении $I(x,y)$, $\lambda\approx 1.1(I_{\max}(x,y)-$ $-I_{\min}(x,y))$. Выражение (1) кодирует яркости пикселей в значения углов поворота единичного вектора в плоскости комплексных яркостей, т.е. это преобразование является чисто модуляционно-фазовым.

Второй этап интерференционного метода заключается в введении когерентного опорного поля $\vec{B}(x,y)=1$, имеющего постоянную величину (причем $\left|\vec{B}(x,y)\right|=\left|\vec{A}(x,y)\right|=1$) и постоянное направление вдоль оси «x». Визуализируются модули векторной суммы или разности этих двух виртуальных векторных полей, т.е.

$$|R(x,y)|=|A(x,y)\pm B(x,y)|. \qquad (2)$$

Подобный подход обеспечивает полную формальную аналогию с методом фазоконтрастной микроскопии Цернике и, по своей сути, представляет использование интерференционных эффектов для повышения качества слабоконтрастных изображений в плоскости фазовой модуляции комплексных яркостей, вводимых на основе модуляционного преобразования (1).

Приведенные в [2] экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что метод работает вполне успешно, если область интереса заранее определена, однако ему присущи два недостатка:

1) проблема оптимизации выбора значения λ в ситуациях, когда область интереса априори неизвестна;

2) ориентация только на амплитудно-пространственные характеристики отображения (2), поскольку фазо-пространственные характеристики при использовании фазового модуляционного преобразования (1) являются неинформативными.

Суть повышения информационных возможностей интерференционного метода базируется на использовании двух преобразований:

1) комплексное модуляционное преобразование вида

$$Z(x,y)=\exp(j\pi/[H(x,y)+\gamma], \qquad (3)$$

где γ – стабилизирующий параметр;

2) изображение $H(x,y)$ является эквализованным вариантом исходного изображения $I(x,y)$. Подобное преобразование необходимо для повышения общей чувствительности анализа, т.к. в противном случае сегментировались бы лишь «темные» участки анализируемого выражения $I(x,y)$.

Использование преобразования (3) (вместо выражения (1)) не требует априорного определения значения λ, т.к. в предложенном варианте значение λ для каждого пикселя анализируемого выражения определяется его исходной яркостью, т.е. выражение (3) является самоорганизующимся с точки зрения конкретизации выбора значения λ.

Использование преобразования (3) позволяет сопоставить исходному изображению $I(x,y)$ четыре новых синтезированных изображения.

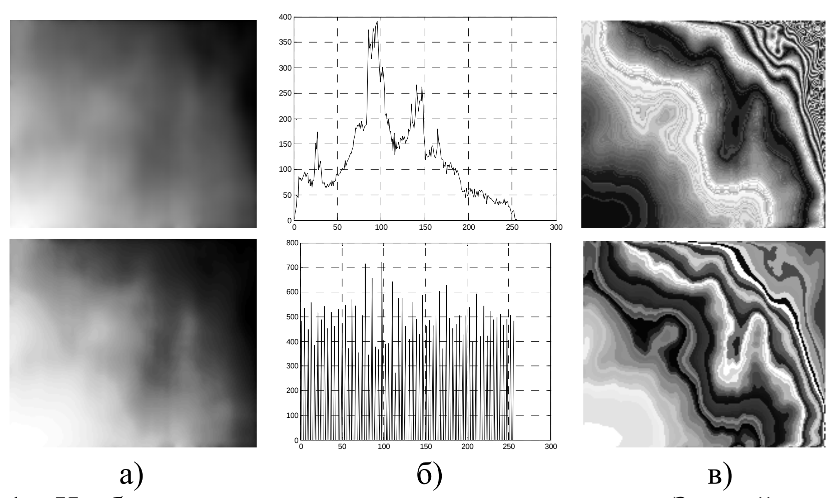
$$\left|Z(x,y)+B(x,y)\right|;\ \left|Z(x,y)-B(x,y)\right|;\ \arg\left\{Z(x,y)+B(x,y)\right\};\ \arg\left\{Z(x,y)-B(x,y)\right\}. \quad (4)$$

Синтез одного результирующего изображения на основе четырех изображений (4) возможен на основе использования самоорганизующихся карт Кохонена (СКК) [3].

Экспериментальные результаты

Исследования проводились на различных типах слабоконтрастных изображений. С точки зрения уяснения возможностей предложенного метода, нам представляется целесообразным изложить именно прикладные особенности, поясняющие целесообразность использования предложенных модификаций интерференционного метода.

На рис. 1 представлены результаты анализа изображения гравитационного поля участка Земной поверхности. Как следует из рассмотрения исходного изображения на рис. 1, последнее можно рассматривать в виде классического образца слабоконтрастного изображения. Как следует из представленных результатов, исходное и эквализированное изображения с точки зрения визуального восприятия практически не различаются, поскольку гистограмма распределения яркости исходного изображения охватывает весь диапазон, однако качество сегментации результирующего изображения на основе использования СКК является более высоким для эквализованного изображения (верхний правый угол), а не для исходного, что и подтверждает целесообразность использования процедуры самоорганизации в выражении (3) на основе эквализованных изображений.



а) б) в)

Рисунок 1 – Изображение гравитационного поля участка Земной поверхности (верхний ряд – результаты для исходного изображения; нижний ряд – для эквализованного изображения): а) исходные изображения; б) гистограммы распределения яркостей; в) результаты применения СКК для четырех синтезированных интерференционных изображений

На рис. 2 представлены результаты обработки изображения электрического потенциального поля на основе рассмотренного подхода.

Из рассмотрения рис. 2 следует, что применение самоорганизующегося интерференционного метода позволило выделить ряд визуально неразличимых областей, причем информативными оказываются как амплитудные, так и фазовые характеристики. Применение СКК к ансамблю синтезированных изображений позволило выделить ряд особенностей (нижний левый угол), визуально неразличимых на синтезированных изображениях.

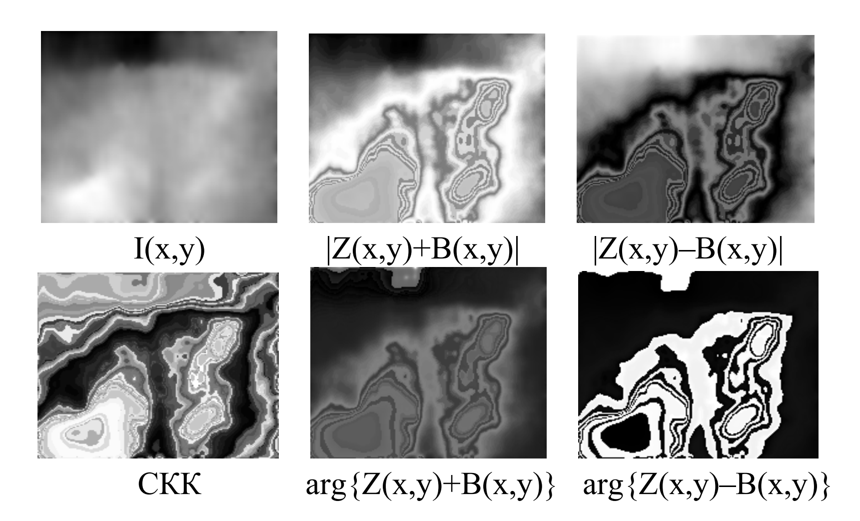


Рисунок 2 – Сегментация изображения электрического потенциального поля I(x,y) участка Земной поверхности

На рис. 3 представлено изображение томограммы головного мозга и четырех характеристик самоорганизующегося интерференционного метода.

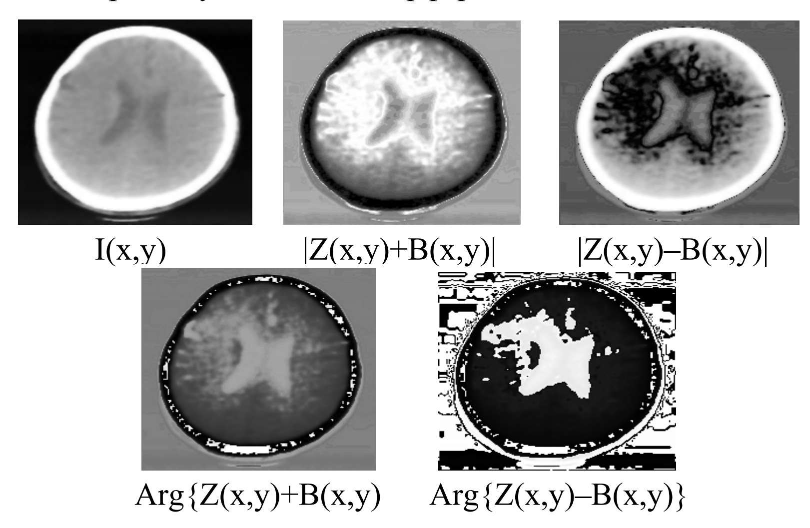


Рисунок 3 – Сегментация томограммы головного мозга

На исходном изображении I(x,y) хорошо видна гематома (верхний левый угол), но совершенно невидима область ее влияния на структуру мозга. Эта область выделилась на амплитудной характеристике |Z(x,y)–B(x,y)| и совершенно четко сегментировалась на фазовой характеристике Arg{Z(x,y)–B(x,y)}.

На рис. 4 представлено инфракрасное изображение турбулентного воздушного потока между двумя алюминиевыми панелями.

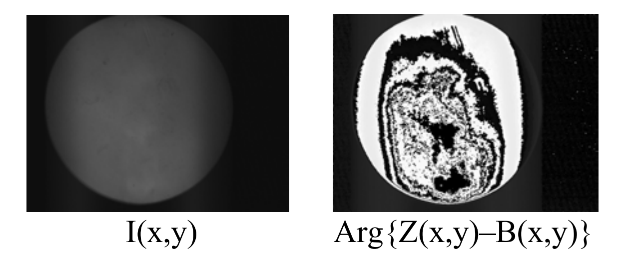
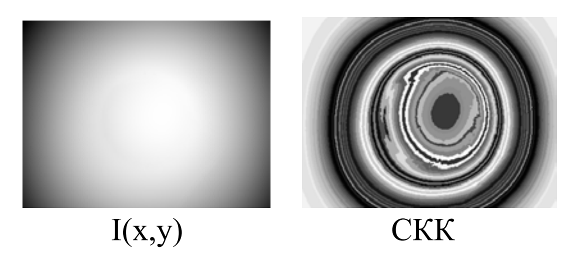


Рисунок 4 – Инфракрасное изображение турбулентного воздушного потока

На исходном изображении границы зоны турбулентности практически визуально неразличимы, тогда как на фазо-пространственной характеристике Arg{Z(x,y)–B(x,y)} зона турбулентности сегментируется однозначно.

На рис. 5 представлено изображение оптического излучения из конца волоконно-оптического кабеля.



I(x,y) СКК

Рисунок 5 – Результат сегментации изображения оптического излучения из конца волоконно-оптического кабеля

Как и в предыдущих случаях, применение самоорганизующегося интерференционного метода с использованием СКК позволило выделить особенности топологии исследуемого изображения I(x,y).

Заключение

1 Самоорганизующийся интерференционный метод сегментации слабоконтрастных изображений не требует использования каких-либо априорных сведений для задания параметров модуляционного преобразования.

2 В рамках нового варианта интерференционного метода синтезируются четыре новые характеристики, причем, в отличие от базового метода, здесь информативными являются и фазо-пространственные характеристики.

Литература

1. Pratt W.K. Digital Image Processing: PIKS Inside, Third Edition / Pratt W.K. – N.Y : John Wiley & Sons., 2001. – 783 p.
2. Ахметшина Л.Г. Интерференционные методы повышения качества и чувствительности анализа низкоконтрастных изображений на основе комплексной фазовой модуляции яркостей / Л.Г. Ахметшина, А.М. Ахметшин, И.М. Мацюк // Искусственный интеллект. – 2007. – № 3 . – С. 194-204.
3. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты / Кохонен Т. – М. : Бином, 2008. – 655 с.

І.М. Удовік, Л.Г. Ахметшина, О.М. Ахметшин

Самоорганізований інтерференційний метод сегментації низькоконтрастних зображень

У статті розглянуті інформаційні можливості нового методу сегментації низькоконтрастних зображень. Суть методу полягає у використанні еквалізованого варіанта аналізованого зображення як польового аналога довжини хвилі віртуального оптичного випромінювання у модуляційному перетворенні. Представлені результати реальної перевірки працездатності методу.

I.M. Udovik, L.G. Akhmetshyna, A.M. Akhmetshyn

Self-Organising Interferometric Method of Low Contrast Image Segmentation

Information possibilities of a new method segmentation of low contrast images are considered. The main idea of the method is based on using of analyzed images as virtual analog of coherent wave field with different wave length. The results freal testing of the method possibilities are presented.

Статья поступила в редакцию 11.06.2010.